doi: 10.15940/j.cnki.0001-5245.2023.06.004

超大口径射电望远镜温度场分析*

雷 震[1,2†]　宁 亮[1]　罗玖洋[1]　赵武林[2]　项斌斌[3]　李东伟[2]

(1 长安大学工程机械学院 西安 710006)
(2 中国电子科技集团公司第三十九研究所 西安 710016)
(3 中国科学院新疆天文台 乌鲁木齐 830011)

摘要 随着天线口径增大、频率升高, 日照热对其性能的影响愈发严重. 针对待建的新疆110 m大口径全可动射电望远镜, 建立其热分析有限元模型, 研究天线在夏至日不同太阳时刻的温度场分布特性. 结果如下: 一天中, 主反射面的最高温度可达42.86°C, 出现在14时, 同时刻撑腿的温度也达到峰值, 为41.74°C. 背架水平分区温差在5时、18时、19.5时均超过1°C, 会对天线指向性能产生较大影响. 夜间天线结构温度分布亦不均匀, 俯仰结构的温差明显高于其他构件, 最大温差为6.42°C, 通过数值模拟与试验相结合的方法, 证明了构件的壁厚差异是导致结构夜间温差较大的主要原因.

关键词 技术: 射电望远镜, 太阳, 温度, 温度效应, 方法: 数值

中图分类号: P111;　**文献标识码**: A

1 引言

反射面天线因其具有高增益、低旁瓣等特性, 广泛应用于深空探测、卫星导航、射电天文观测等领域. 拟建的新疆110 m大口径全可动射电望远镜(QiTai Radio Telescope, QTT), 其结构复杂、反射面精度达到亚毫米级, 因此需要考虑各种载荷对天线结构变形的影响. 日照温度场受风速、大气清洁度、地面温度等因素影响, 具有时变性和不确定性, 对超大口径射电望远镜性能的影响愈发严重[1].

目前, 国内外学者关于日照热对大口径射电望远镜性能影响的研究较少, 且主要集中于中小口径望远镜日照温度场效应的数值模拟和实测研究, 如李鹏等人对“嫦娥工程”40 m天线进行了机电耦合分析, 指出温度对其电性能的影响不但体现在结构变形的均方根值上, 更与变形的分布形式密切相关[2]. 常文文等人研究了南山站25 m天线面板的日照温度场分布规律, 发现15时面板的温度最高, 指出此时温度场对天线指向的影响较大[3]. Baars等人研究发现IRAM-30 m射电望远镜 (Institute for Radio Astronomy)日照温差造成的结构变形大于重力和风载作用下的变形, 通过采用天线罩、主动通风等措施, 改善了日照热对天线性能的影响[4]. Ambrosini等人利用温度传感器测量了32 m VLBI (Very Long Baseline Interferometry)天线基座梁的温差数据, 精准预测了天线俯仰轴倾斜角的变化[5]. Lamb等人研究了温度梯度对Leighton 10 m天线性能的影响, 指出水平温差对天线的指向影响较大[6]. 易乐天等人通过数值模拟的方法研究了南山站25

2022-08-17收到原稿, 2022-11-10收到修改稿

*国家自然科学基金项目(12203008)、中国博士后科学基金资助项目(2020M683598)、陕西省自然科学基础研究计划项目(2021JM-150)资助

†592267459@qq.com

m射电望远镜在太阳辐射作用下的温度场分布情况, 发现日照区域背架结构的温度近似呈线性分布[7].

日照热对超大口径射电望远镜性能的影响将更加显著[1], 为保证QTT建成之后的正常工作, 本文首先对QTT的日照温度场进行建模, 分析天线在夏至日不同时刻的温度场分布情况, 研究结构不同区域、不同构件的温差变化规律. 针对夜间俯仰结构温差明显高于其他构件的反常现象, 通过理论仿真与温度试验相结合的方法, 探讨壁厚对梁降温速度的影响.

2 天线热环境建模

2.1 ASHRAE晴空模型

ASHRAE晴空模型[8]指出地面物体接收的太阳辐射可分为直接辐射、散射辐射和反射辐射, 其分别表述如下.

直接辐射强度:

$$G_{\mathrm{ND}} = \frac{A}{\exp(B/\sin\beta_{\mathrm{s}})} C_{\mathrm{N}} \cos\theta \,, \tag{1}$$

式中, A为大气质量为零时的太阳辐射强度; B为大气消光系数; β_{s}为太阳高度角; C_{N}为大气清洁度; θ为太阳对构件表面的入射角, 若$\cos\theta$小于零则表示构件处于阴影中.

散射辐射强度:

$$G_{\mathrm{d}\theta} = 0.5 C G_{\mathrm{ND}} (1+\cos\alpha) \,, \tag{2}$$

式中, C为散射辐射系数; α为物体表面相对于地面的倾角.

反射辐射强度:

$$G_{\mathrm{R}} = 0.5 \rho_{\mathrm{g}} G_{\mathrm{tH}} (1+\cos\alpha) \,, \tag{3}$$

式中, ρ_{g}为地面反射率, 一般取0.3[9]; G_{tH}为落在壁面之前的水平面或地面上的总辐射量, 有$G_{\mathrm{tH}} = (C+\sin\beta_{\mathrm{s}})\, G_{\mathrm{ND}}$.

则入射到天线表面的太阳辐射热流密度为:

$$\begin{aligned} G_{\mathrm{t}} &= G_{\mathrm{ND}} + G_{\mathrm{d}\theta} + G_{\mathrm{R}} \\ &= [\cos\theta + 0.5C(1+\cos\alpha) + \\ &\quad 0.5\rho_{\mathrm{g}}(1+\cos\alpha)(\sin\beta_{\mathrm{s}} + C)] G_{\mathrm{ND}} \,. \end{aligned} \tag{4}$$

天线实际得到的太阳热流密度为:

$$Q_{\mathrm{s}} = \gamma G_{\mathrm{t}} \,, \tag{5}$$

式中, γ为天线表面的太阳辐射吸收率, 构件表面一般涂有白漆, 故γ取值为0.3[9].

2.2 对流换热模型

天线与环境间的对流换热可用牛顿换热定律[10]表述如下:

$$Q_{\mathrm{c}} = h_{\mathrm{c}} \left(T_{\mathrm{s}} - T_{\mathrm{x}}\right) , \tag{6}$$

式中, h_{c}为对流换热系数, 其取值根据文献[11]建议使用公式$h_{\mathrm{c}} = 4.0v + 5.6\,[\mathrm{w/(m^2 \cdot {}^\circ C)}]$, 式中$v$为风速; T_{x}为构件表面温度; T_{s}为环境温度, 可按下式计算[10]:

$$\begin{aligned} T_{\mathrm{s}}(t) = {} & 0.5(T_{\mathrm{s\,max}} - T_{\mathrm{s\,min}}) \sin[15(t-9)] + \\ & 0.5(T_{\mathrm{s\,max}} + T_{\mathrm{s\,min}}) \,, \end{aligned} \tag{7}$$

式中, $T_{\mathrm{s\,max}}$、$T_{\mathrm{s\,min}}$分别为环境最高温度和最低温度, t为时间.

2.3 净长波辐射

净长波辐射指天线与地面、远空的辐射换热过程. 天线表面得到的净长波辐射可表述为[8]:

$$Q_{\mathrm{r}} = \varepsilon\sigma \left[F_{\mathrm{wg}} \left(T_{\mathrm{g}}^4 - T_{\mathrm{x}}^4\right) + F_{\mathrm{ws}} \left(T_{\mathrm{sky}}^4 - T_{\mathrm{x}}^4\right)\right] , \tag{8}$$

式中, ε为天线表面的长波发射率; σ为斯蒂芬-玻尔兹曼常数; F_{wg}、F_{ws}分别为天线构件表面对地面、天空的辐射角系数; T_{sky}为远空温度; T_{g}为地面温度.

2.4 瞬态温度场

天线结构的热分析遵循热力学第一定律(能量守恒定律), 瞬态热分析的能量平衡方程为[12]:

$$\boldsymbol{C}\dot{\boldsymbol{T}}(t) + \boldsymbol{K}\boldsymbol{T}(t) = \boldsymbol{Q}(t) \,, \tag{9}$$

式中, $\boldsymbol{C}$为比热矩阵; $\boldsymbol{T}(t)$和$\dot{\boldsymbol{T}}(t)$分别为温度向量及其关于时间t的导数; $\boldsymbol{K}$为热传导矩阵, 包括对流换热系数; $\boldsymbol{Q}(t)$为节点热流率向量.

3　结果与分析

QTT反射体的有限元模型如图1所示, 其主要包括主反射面面板(Panels of the Main Reflector, PMR)、背架结构(Back Up Structure, BUS)、副反射面撑腿(Quadpods)、俯仰结构(Pitch Structure, PS)等构件, 反射体模型共有20400个单元、6205个节点, 其中壳单元4000个、梁单元16400个. 背架、俯仰结构、撑腿等构件的材料为钢, 主反射面材料为铝, 材料的热物特性如表1所示.

选取典型工况如下, 夏至日6月21日晴天无云, 风速分别取2 m/s、3.5 m/s, 天线俯仰角为90°、方位角为0°, 对QTT反射体进行全天的温度场时程分析.

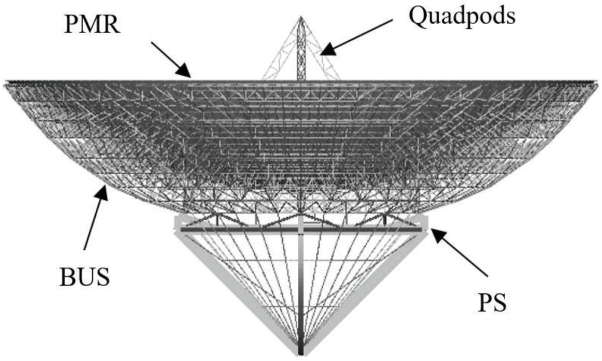

图 1　天线反射体有限元模型

Fig. 1　Finite element model of antenna reflector

表 1　天线材料的热物理参数

Table 1　Thermal and physical parameters of antenna materials

Materials	Density/(kg · m^{-3})	Specific Heat Capacity/(J · kg^{-1} · K^{-1})	Thermal Conductivity/(W · m^{-1} · K^{-1})
Aluminum	2780	875	190
Steel	7850	465	49.8

3.1　反射面与桁架温度分布

图2至图4为天线主反射面及桁架的温度场分布云图, 风速为3.5 m/s, 时间分别为8:00、12:00和16:00 (地方时). 分析温度场云图可知, 天线结构的日照温度场呈现绕太阳直射点的放射梯度状分布, 具有不均匀性、时变性等特点.

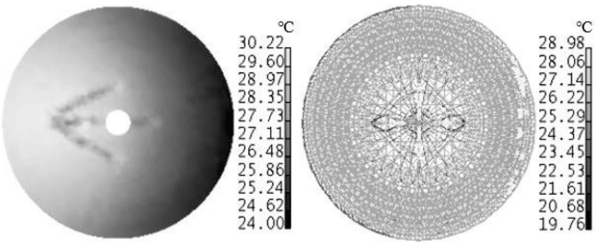

图 2　(a)主反射面温度场, (b)桁架温度场. 8:00 (地方时)天线结构温度场.

Fig. 2　(a) Temperature field of main reflector, (b) Temperature field of truss. Temperature field of antenna structure at 8:00 (local time).

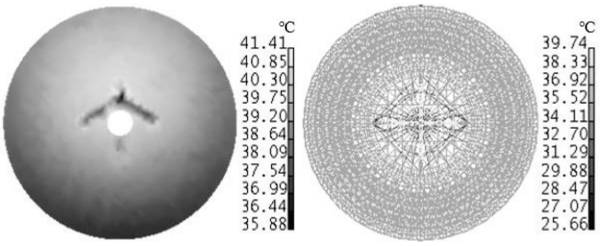

图 3　(a)主反射面温度场, (b)桁架温度场. 12:00 (地方时)天线结构温度场.

Fig. 3　(a) Temperature field of main reflector, (b) Temperature field of truss. Temperature field of antenna structure at 12:00 (local time).

图5为反射体各构件在夏至日不同时刻最高温度的变化曲线, 表2为不同构件温度极大值(Tmax)及其出现的时间(Time). 由表2可知, 一天中主反射面温度最大值为42.86°C, 出现在14时, 滞后于最大太阳高度约2 h, 背架、撑腿及俯仰结构的最高温度分别为39.14°C、41.74°C、38°C, 均表现出一定的滞后性.

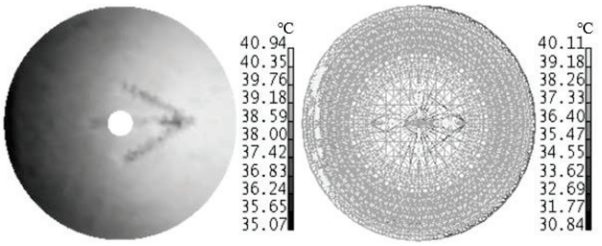

图 4　(a)主反射面温度场, (b)桁架温度场. 16:00 (地方时)天线结构温度场.

Fig. 4　(a) Temperature field of main reflector, (b) Temperature field of truss. Temperature field of antenna structure at 16:00 (local time).

分析图5与表2可知, 由于构件之间的相对空间位置不同, 不同构件的温度最大值及其出现时间存在差异. 撑腿和主反射面处于同一空间位置, 所以它们最高温度的变化趋势相似、最大值相近. 靠近反射面的背架, 在两者的热交换过程中获得更多热量, 故背架最高温度的变化曲线与反射面的相似. 俯仰结构温度最大值出现的时间最晚, 这是因为其位于反射体的最下方, 太阳直射的时间最晚, 且随太阳辐射强度的减弱幅值减小.

表 2　各构件的最高温度及到达时间

Table 2　The arrival time and the maximum temperature of each component

Component	PMR	BUS	Quadpods	PS
Tmax/°C	42.86	39.14	41.74	38
Time	14:00	14:30	14:00	16:30

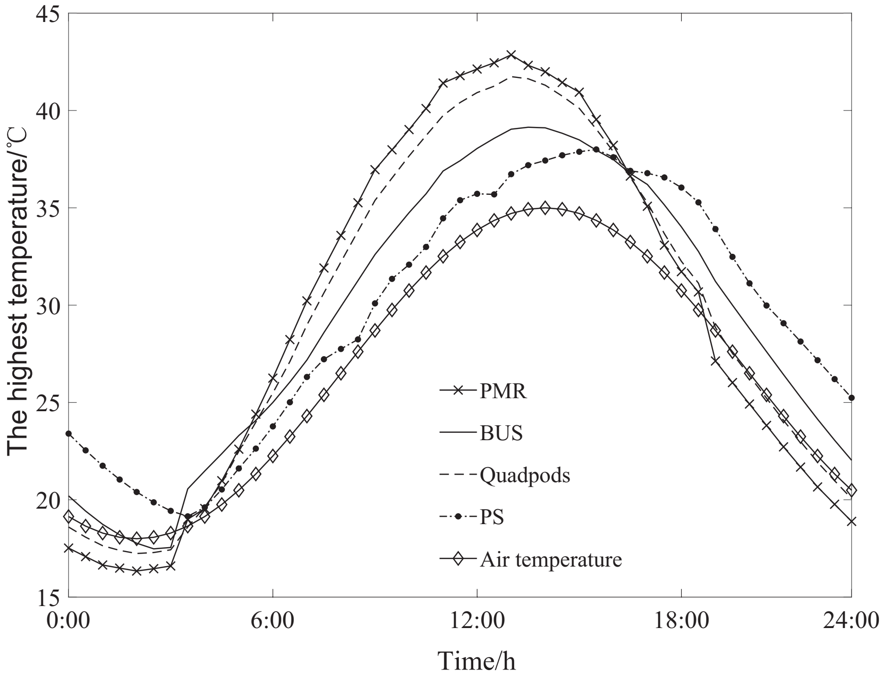

图 5　夏至日中各构件的最高温度

Fig. 5　The highest temperature of each component during the summer solstice day

3.2　背架不同区域温差分析

Lamb等人研究发现天线结构的水平(X、Y向)温差和垂直(Z向)温差影响其指向精度、前后温差影响焦点位置[6], 且由于背架对反射面的变形起主导作用[1], 故本文将背架分为上下(Up、Down)、左右(Left、Right)、前(指反射面的凹面, Front)后(指反射面的凸面, Rear) 6个区域, 考察其温差变化情况, 分区见图6.

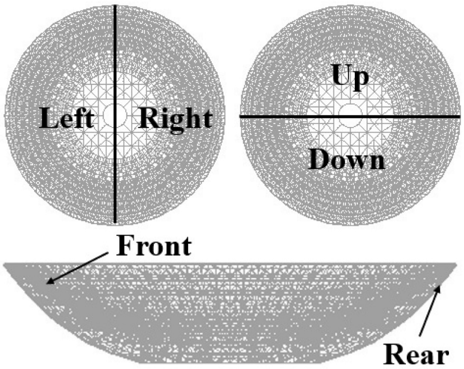

图 6　背架分区图

Fig. 6　Partition zones of the backup structure

分区温差定义: 左右(上下/前后)分区温差 = 右(上/前)区域平均温度 − 左(下/后)区域平均温度. 左右、上下、前后分区温差分别标记为$T_{\text{BUS-LR}}$、$T_{\text{BUS-UD}}$、$T_{\text{BUS-Front-Rear}}$, 3.5 m/s和2 m/s风速下的温差变化曲线分别如图7、图8所示.

不同分区温差分析: 由图7可知, 不同风速下背架左右分区温差在5:00、18:00达到峰值, 上下分区温差在19:30达到最大, 温度极值见表3、表4; 左右分区温差存在两个极值点, 上下分区温差仅有一个极值点, 这是由于背架分区和太阳之间的相对位置不同. 由图8可知, 不同风速下背架前后分区温差在12:00最大, 次高峰出现在4:30.

风速与温差的关系: 由图7、图8均可看出, 不同风速下背架同一分区温差的变化趋势相同, 但随风速增大, 温差的幅值减小. 这是因为风速越大, 天线与环境间的换热速率越快, 结构的最高温度越接近环境温度, 而其最低温度始终与环境温度相仿.

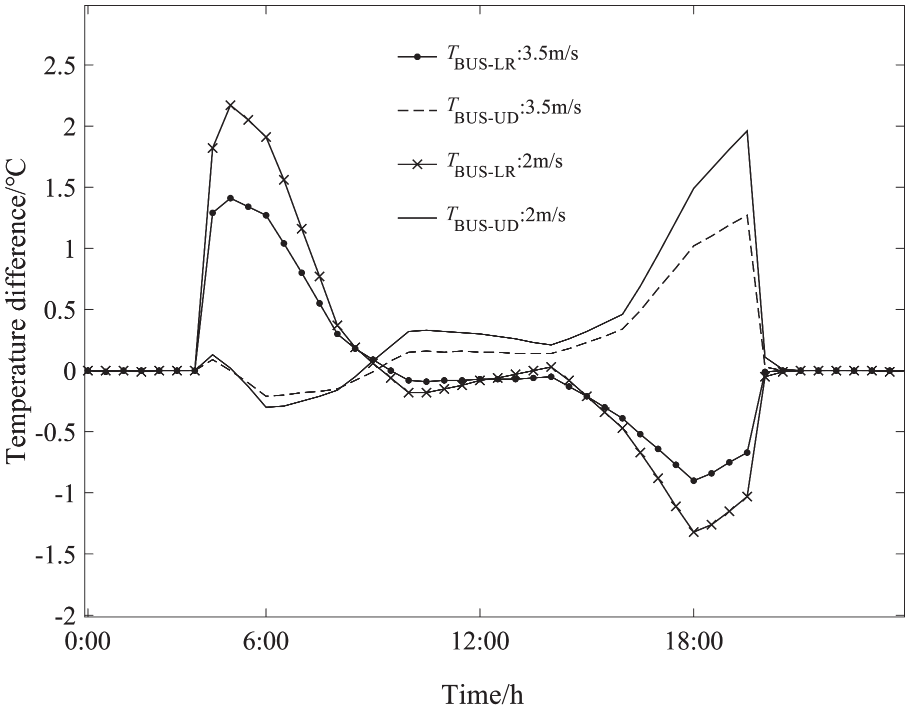

图 7　背架左右、上下分区的温差(3.5 m/s、2 m/s风速)

Fig. 7　Temperature differences of left-right zone and upper-lower zone of the backup frame (At wind speeds of 3.5 m/s and 2 m/s)

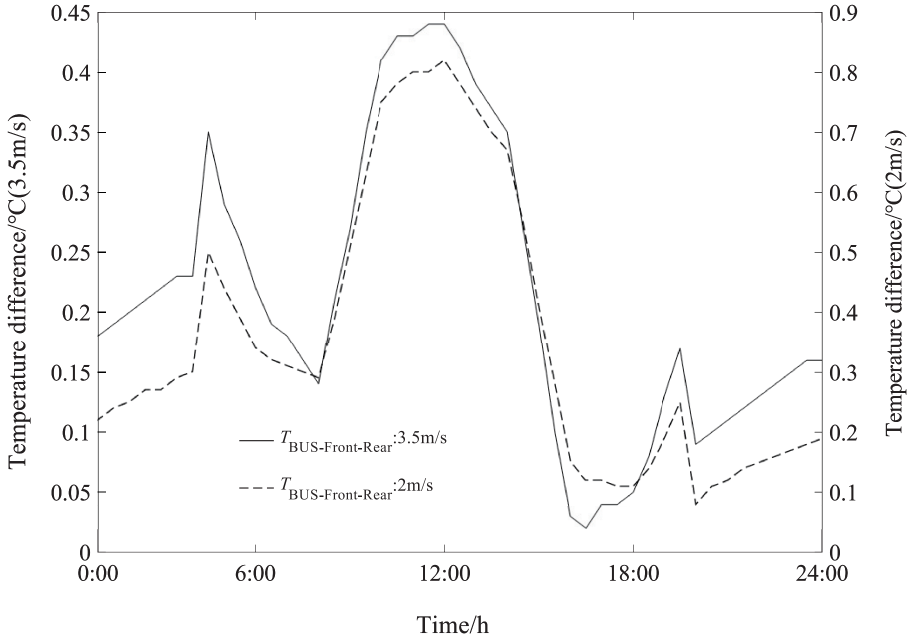

图 8 3.5 m/s (左)、2 m/s (右)风速下背架前后分区温差

Fig. 8 Temperature difference between front and rear zones of backup frame (at wind speeds of 3.5 m/s and 2 m/s)

表 3 结构分区的温差最大值

Table 3 Maximum temperature difference of structural zones

wind speed	Back frame partition temperature difference /°C	Time				
	$T_{\text{BUS-LR}}$		$T_{\text{BUS-UD}}$		$T_{\text{BUS-Front-Rear}}$	
3.5 m/s	1.41	5:00	1.27	19:30	0.44	12:00
2 m/s	2.17	5:00	1.96	19:30	0.82	12:00

表 4 结构分区的温差最小值

Table 4 Minimum temperature difference of structural zones

wind speed	Back frame partition temperature difference/°C	Time				
	$T_{\text{BUS-LR}}$		$T_{\text{BUS-UD}}$		$T_{\text{BUS-Front-Rear}}$	
3.5 m/s	−1	18:00	−0.20	6:00	0.02	16:30
2 m/s	−1.3	18:00	−0.30	6:00	0.12	16:30

日照热对天线性能的影响: Lamb等人研究发现Leighton 10-m Antenna沿背架水平方向的温差与指向误差的比例为1°C/0.28 arcsec, 背架前后温差与焦点位置的比例为1°C/0.404 mm[6]. 李鹏等人在某40 m天线研究中发现天线主轴在太阳辐射作用下的指向变化与反射面最高温度点的变化趋势相反, 且在早晚的指向误差大于中午, 日照热引起的天线增益损失也较大[2]. 钱宏亮等人在对上海65 m射电望远镜研究中发现在天线俯仰角90°时, 太阳辐射作用下的面型精度最大可达0.351 mm, 接近重

力对天线反射面精度的影响[13].

因此, 由图7及表3可知, QTT背架水平分区在5:00、18:00、19:30的最大温差均超过1°C, 相对于Leighton 10-m Antenna、40 m天线及上海65 m天线, QTT结构更加复杂, 故此时背架水平温差会对天线指向性能产生影响; 背架前后分区的温差最大值出现在12时, 分别为0.82°C (2 m/s)、0.44°C (3.5 m/s), 此时温差会对天线焦点产生影响; 因此, 日照对QTT天线的性能影响将会更大.

3.3 QTT不同构件的温度场分析

俯仰结构与背架对主反射面起支撑作用, 其变形主导反射面的变形; 而反射面形状误差直接影响天线的性能[1]; 撑腿的热变形会导致副反射面偏移, 从而影响焦点位置[14]. 故本节分别探讨主反射面、背架、俯仰结构、撑腿的日照温度场分布特性, 上述构件位置见图1.

图9到图10分别为上述构件不同时刻最大温差、最大温升的变化曲线, 风速为3.5 m/s; 各构件温度极值及其时间如表5所示, 其中, TBDT (The Biggest Difference in Temperature)和MTR (Max Temperature Rise)分别表示为最大温差和最大温升.

可得出如下结论:

表 5 各构件到达温度极值的时间

Table 5 The arrival time of temperature extremes of each component

Component	TBDT /°C	Time	MTR /°C	Time
PMR	6.22	8:00	8.90	12:00
BUS	7.24	12:00	4.38	12:00
Quadpods	6.55	12:00	7.23	12:00
PS	8.90	12:30	5.53	20:00

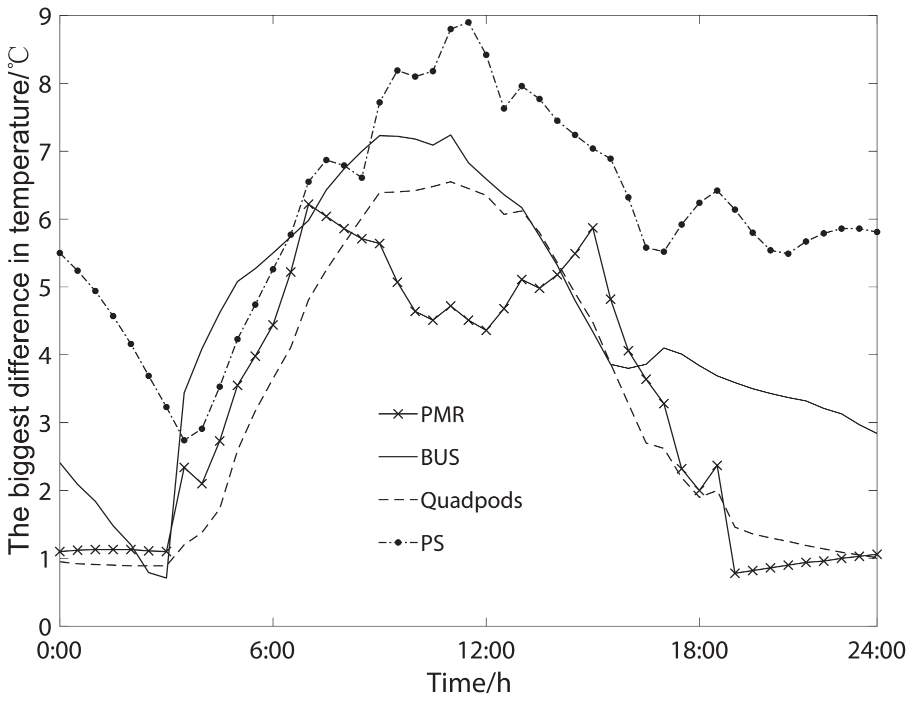

图 9 各构件的最大温差

Fig. 9 TBDT of each component

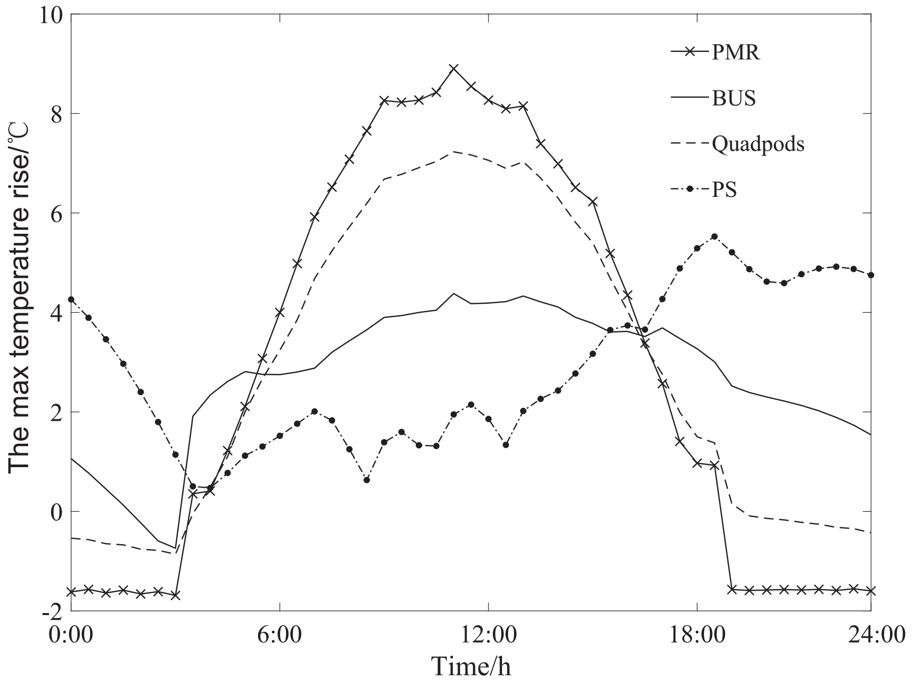

图 10　各构件最大温升

Fig. 10　MTR of each component

(1)图9可见, 俯仰结构在夜间(9:30到次日4:30)的温差为2.7°C到6.42°C, 最大温差出现在19:30, 远高于其他构件(背架最大温差次之, 为3.5°C, 出现在19:00). 在白天俯仰结构的温差同样高于其他构件, 最大值为8.9°C, 出现在中午12:30; 背架最大温差位于第2位, 为7.24°C.

(2)由图10可知, 在太阳辐射作用下, 反射面、撑腿、背架三者温升随太阳高度角的变化先升高后降低; 三者中反射面的温升最大, 为8.9°C, 出现在12:00; 撑腿次之, 背架的温升最小. 在太阳升起后, 俯仰结构温升整体呈现上升趋势, 直到20:00达到最大, 为5.53°C.

夜间由于无太阳照射, 通常认为天线结构的温度场应该分布均匀、温差较小, 但仿真结果表明俯仰结构在夜间的温差明显高于其他构件, 最大温差为6.42°C, 因此有必要进一步探求导致俯仰结构夜间温差反常的原因.

4　仿真与试验验证

针对第3.3节俯仰结构夜间温差较大的现象, 分析发现: 俯仰结构梁的壁厚最大为90 mm、最小为10 mm, 两者相差巨大, 故本节通过理论仿真与试验相结合的方法, 研究壁厚对梁降温速度的影响.

4.1　平板散热数值模拟

根据能量守恒定律, 一个放置在无限大介质中冷却, Bi (毕渥数)小于0.1且初始温度为t_0的物体, 其释放的能量等于自身能量的减少量[15], 即:

$$hA_{\rm s}\left(t_{\rm s}-t_{\infty}\right)=-\rho cV\frac{{\rm d}t_{\rm s}}{{\rm d}\tau}\,, \tag{10}$$

式中, h为对流换热系数; τ为冷却时间; t_{∞}为介质温度; $A_{\rm s}$为物体的表面积; c为物体比热容; ρ为物体的密度; V为物体的体积; $t_{\rm s}$为τ时刻的物体温度.

将"梁在夜间的散热过程"看作"梁在无限大介质中的冷却过程"[13], 可将(10)式化简为:

$$\frac{t-t_\infty}{t_0-t_\infty}\approx \mathrm{e}^{-\frac{h}{\rho c D}\tau}, \tag{11}$$

式中, $D\approx V/A_s$为梁的厚度.

由(11)式可知, "梁在无限大介质中的冷却过程"等同于"等厚度平板在无限大介质中的单面冷却过程"[13]. 本文选取典型厚度的平板进行数值模拟, 厚度分别为10 mm、30 mm、50 mm和90 mm, t_∞、t_0分别取20°C、30°C.

图11为不同厚度平板从t_0单面冷却到t所需要时间的变化曲线. 由图可知: 随着平板厚度增加, 热时间常数增大, 导致其温度从t_0冷却到t所需要的时间越长, 表现为: 当平板厚度为10 mm时, 从30°C冷却到21°C需要2.5 h; 当平板厚度为90 mm时, 经过9 h的散热冷却, 物体的温度下降为23.7°C.

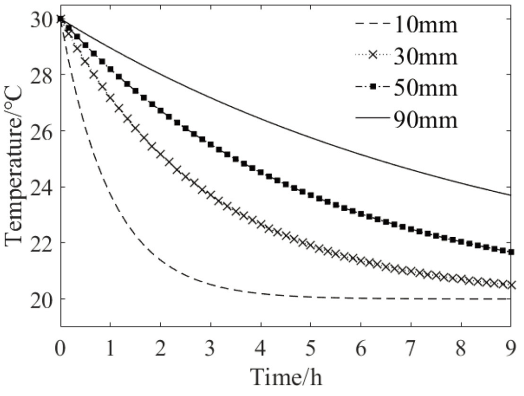

图 11　不同厚度平板温度变化曲线

Fig. 11　Temperatures of plate with different thickness

由上述分析可知, 平板厚度的不同会导致其降温速度产生较大差异, 且平板越厚, 降温速度越慢. 故在夜间由于梁之间的壁厚差异, 俯仰结构温差远高于其他构件是合理的.

4.2　空心圆筒温度试验

为验证数值模拟结果的准确性, 本节对空心圆筒进行温度试验. 温度测量系统为: 温度数据显示器与NT78-LG-F10温度传感器, 两者通过无线电通讯, 该传感器的测量误差为±0.2°C. 被测物体如图12 (左侧)所示, 其壁厚为20 mm. 为保证测量数据的准确性, 先进行传感器探头位置、探头与被测物体贴合状态的试验, 测量方式和顺序如图12 (右侧)所示, 测量结果见表6.

由表6可知, 涂抹硅脂会改善探头与被测物体之间的导热性能, 提高测量精度, 故传感器探头应涂抹硅脂. 对空心圆筒开展温度试验, 测量结果如图13所示, 试验开始时间为17:00, 结束时间为22:30.

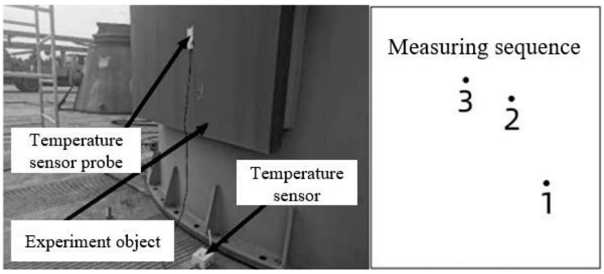

图 12　被测物体、探头位置及测量顺序

Fig. 12　Object to be measured, probe position and measurement sequence

表 6　传感器探头导热性能试验

Table 6　Thermal conductivity test of sensor probe

Joint state	Temperature[a]	Temperature[b]	Temperature[c]
No silicone	40.0	38.3	39.5
silicone	40.7	40.1	39.8

The measurement times for a, b, and c are at 15:40, 15:48 and 16:09 respectively. The unit of temperature is Celsius degree.

由图13可知, 在经过5 h的散热冷却后, 圆筒的温度依然比空气温度高2°C. 虽然空气温度随时间减小, 这有利于圆筒的散热冷却; 但壁厚对物体降温速度的影响大于空气降温的影响, 最终使其降温冷却过程更为缓慢. 同理可知, 在升温过程中, 由于不同壁厚构件的热容差异, 壁厚较大构件的升温过程也会较为缓慢.

结合4.1节仿真结果(图11)可知, 随着梁壁厚增大, 构件热时间常数增大, 导致其降温速度下降. 即

经过相同时间散热后, 梁壁厚越大其温度较空气温度越高, 反之, 其温度越接近空气温度. 由此可知, 由于QTT俯仰结构梁的壁厚最大相差9倍, 导致其在夜间形成明显的温差. 而在早晨太阳刚升起时, 由于天线厚主梁升温慢、薄辐射梁升温快, 结构上也会形成较大的温差.

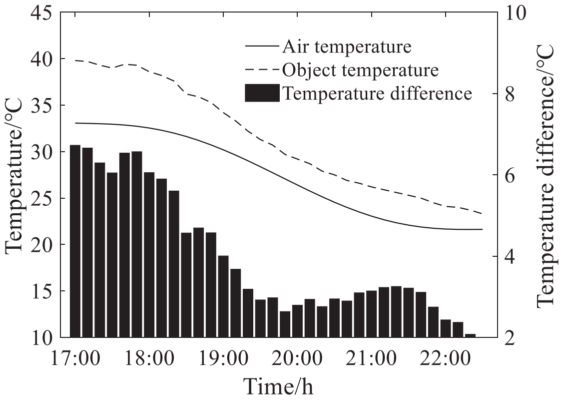

图 13　被测物体的温度变化曲线

Fig. 13　Temperatures of the measured object

为了避免QTT厚主梁结构温差过大影响其正常工作, 可在主梁外部分包裹辐射防护穿孔网, 在不较大影响通风的前提下, 减少太阳热流输入; 同时, 还可在部分厚度超大的重要结构上引入电加热或在梁内部空心处安装风扇使管道内形成较大风速, 控制其温度.

5　结论

(1)夏至日该天, QTT反射面温度最大值为41.41°C, 出现在12时; 同时刻桁架的温差最大, 为14.08°C. 这会对天线性能产生不利影响, 为保证QTT的正常工作, 有必要采取适当的热防护措施.

(2)在风速2 m/s、3.5 m/s下, QTT背架水平分区温差在5时、18时、19.5时均超过1°C, 这会对天线指向性能产生较大影响; 背架前后温差在12时达到峰值, 会对天线焦点产生影响.

(3)俯仰结构梁的壁厚最大相差9倍, 壁厚的差异使其降温速度产生巨大差异, 从而导致俯仰结构在夜间出现明显的温度梯度, 最大温差为5.6°C, 远高于其他构件.

参考文献

[1] Greve A, Bremer M. Measured Thermal Behaviour of Radio Telescopes. Thermal Design and Thermal Behaviour of Radio Telescopes and Their Enclosures. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010: 173-261

[2] 李鹏, 段宝岩, 郑飞, 等. 机械工程学报, 2012, 48: 136

[3] 常文文, 艾力·玉苏甫. 天文研究与技术, 2015, 12: 23

[4] Baars J W M , Greve A, Hooghoudt B G, et al. A&A, 1988, 195: 364

[5] Ambrosini R, Grueff G, Morsiani M, et al. Ap&SS, 1996, 239: 247

[6] Lamb J W, Woody D P. NRAO Millimeter Array Memo Series, 1998, 234

[7] 易乐天, 许谦, 王娜. 天文学报, 2022, 63: 17

[8] McQuiston F C, Parker J D, Spitler J D. Heating Ventilating and Air Conditioning: Analysis and Design. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 153

[9] Fan F, Jin X F, Shen S Z. Advances in Structural Engineering, 2009, 12: 503

[10] 刘树堂, 龙期亮. 建筑钢结构进展, 2012, 14: 35

[11] Ho D, Liu C H. Journal of Structural Engineering, 1989, 115: 1681

[12] 孔祥谦. 有限单元法在传热学中的应用. 3版. 北京: 科学出版社, 1998: 35-52

[13] 钱宏亮, 刘岩, 范峰, 等. 红外与激光工程, 2012, 41: 3027

[14] 叶尚辉, 李在贵. 天线结构设计. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986: 53-72

[15] 徐国葆. 特殊电工, 1981, 4: 1

Analysis of Temperature Field of Very Large Aperture Radio Telescope

LEI Zhen[1,2] NING Liang[1] LUO Jiu-yang[1] ZHAO Wu-lin[2] XIANG Bin-bin[3] LI Dong-wei[2]

(1 School of Mechanical Engineering, Chang'an University, Xi'an 710006)
(2 The 39th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Xi'an 710016)
(3 Xinjiang Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011)

Abstract With the increase of antenna aperture and frequency, the influence of solar heat on its performance becomes more and more serious. In this paper, the thermal model of the 110 m aperture radio telescope to be built in Xinjiang is established to study its temperature field characteristics on the summer solstice. The results are as follows: during the day, the highest temperature of the main reflector can reach 42.86°C, which appears at 14 o'clock, and the temperature of the legs also reaches the peak of 41.74°C at the same time. The horizontal temperature difference of the back frame will exceed 1°C at 5, 18 and 19.5 o'clock, the antenna pointing performance will be greatly affected. The temperature field at night is also not uniform, and the temperature difference of the pitching structure is significantly higher than that of other components, with the maximum temperature difference of 6.42°C. Through the method of numerical simulation and test, it is proved that the wall thickness difference of components is the main reason for the large temperature difference at night.

Key words techniques: radio telescope, Sun, temperature, temperature effects, methods: numerical